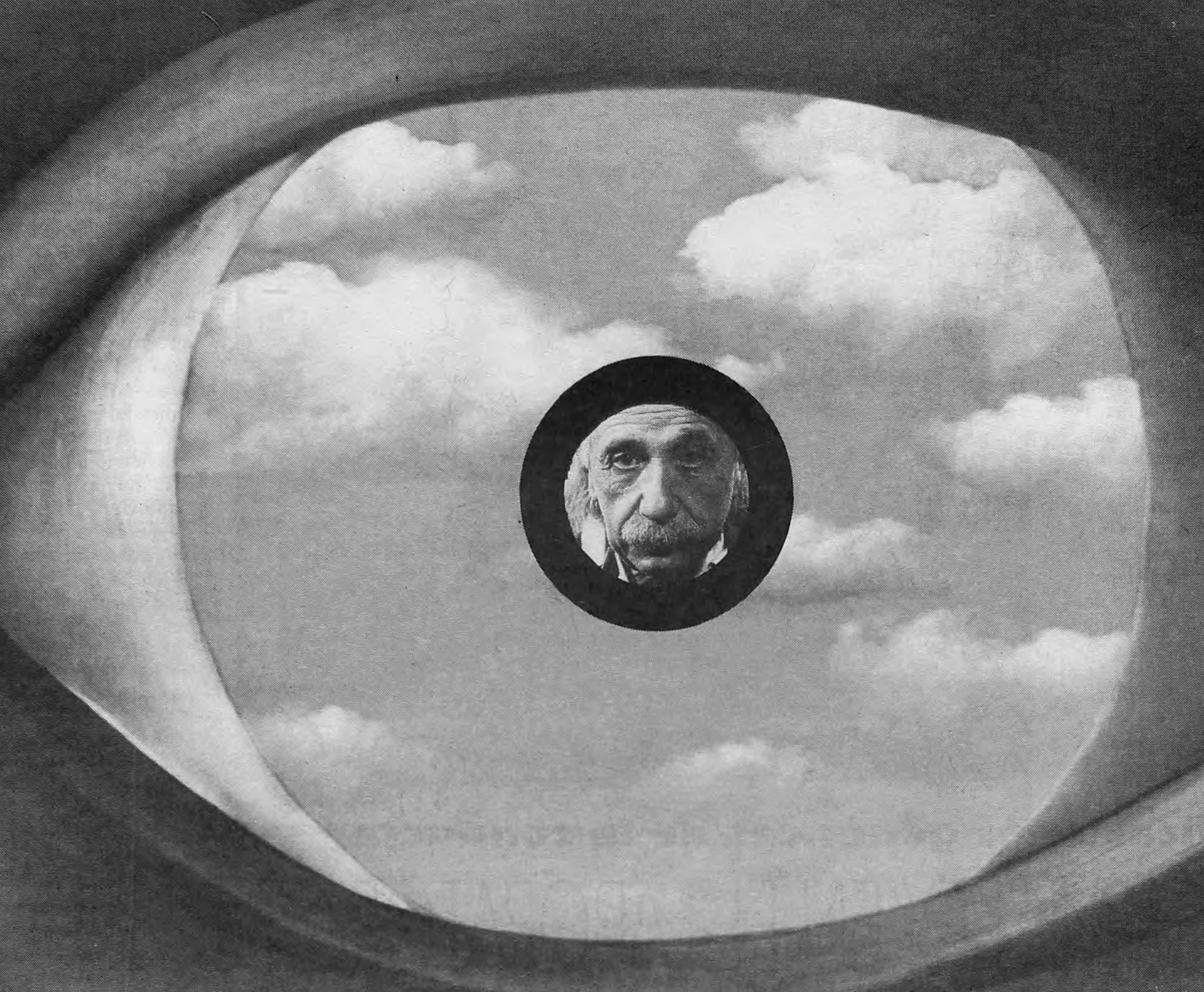
UNA SEÑAL QUE PARECE VIAJAR MAS RAPIDO QUE LA LUZ

NOTICIAS DEL MICROCOSMOS



¿Existe la realidad? ¿Tiene propiedades definidas o es sólo un haz de probabilidades? Esta pregunta, que parece corresponder solamente a los filósofos, también afecta a los físicos que estudian el mundo microscópico de las partículas subatómicas y la mecánica cuántica, que las describe, en escalas de millonésimas de millonésimas de milímetro. Hace pocos días, en Ginebra, el Dr. Nicolás Gisin y su equipo, mediante un resonante experimento, confirmaron una vez más, y de manera espectacular, una de las más extrañas propiedades de lo muy pequeño: el Principio de Incertidumbre –que niega la existencia de las propiedades definidas– y que fuera durante años motivo de controversia: notablemente, entre Einstein y Bohr, probablemente los dos físicos más grandes del siglo. Y que involucra, en apariencia, la transmisión de señales a mayor velocidad que la de la luz. En esta entrega, FUTURO discurre sobre el experimento y sobre sus implicaciones.

También en este número, algo sobre las bases genéticas de la conducta: ¿se podrá inhibir una conducta mediante manipulación genética?, pregunta a la que tampoco le faltan implicaciones.

FUTURO

Modificaciones genéticas de la conducta

¿RATONES MICKEY EN EL LABORATORIO?

Por Diego Golombek



El ratón Mickey se probaba su traje de brujo, y, dirigido por don Stokowsky, hechizaba al mundo para dejar de trabajar: las cosas cambiaban de lugar, las escobas barrían solas, los cubos de agua se llenaban y vaciaban. Mientras tanto, Mickey se echaba una siesta. Sin duda que las habilidades de Mickey en Fantasía eran superiores a las de cualquier ratón de laboratorio, más allá de su traje y su bonete. ¿Sería Mickey un mutante superdotado? ¿Podremos producir Mickeys en el laboratorio?

El comportamiento de cualquier animal es una actividad de lo más compleja: en el fondo de muchas conductas existe la inducción o inhibición de un gen. Esto define a la genética del comportamiento: estudiar la relación entre conducta y genética. No todo está en los genes, es cierto, pero también lo es el hecho de que ciertos genes (y las proteínas que codifican) brindan mayor o menor propensión a conductas muy específicas, incluyendo al aprendizaje y la memoria. Si el típico científico loco de, por ejemplo, *Metrópolis*, podía tratar de obtener zombies con muchos o ningún cerebro, nada impide que el científico moderno –y tal vez no tan loco– intente producir animales con muchos o ningún gen de los que se sospeche que participan en un comportamiento determinado (o, incluso, en una patología determinada). La ingeniería genética permite modificar el genoma (el conjunto de los genes) de un organismo, cuando éste no es más que un puñado de células. Se puede poner un proyecto de ratón, o de mosca (o, para el caso, de papa o de jazmín) debajo del microscopio e introducirle una cantidad de genes, propios o foráneos: estaremos hablando, entonces, de organismos transgénicos. Como buenos aprendices de brujos, se puede poner o quitar: es posible obtener organismos sin un gen determinado, a los que se llama knockouts o mutantes nulos. Claro: la mayoría de las mutaciones knockout son letales: si un animal tiene un gen, seguramente para algo lo tendrá, y el perderlo no será muy compatible con vivir. Sin embargo, se han producido una serie de mutaciones nulas no letales, las cuales pueden dar una idea de cómo es la vida sin ese gen. La vida, o el aprendizaje de una tarea determinada. Los más críticos afirman que si el animal puede vivir sin ese gen, entonces o no era tan necesario, o bien algún otro gen tomó su lugar y compensa la pérdida.

La idea es la siguiente: si en un experimento se puede comprobar que una proteína determinada se activa cuando un ratón aprende a moverse por un laberinto, entonces el no tener esa proteína –o, lo que es lo mismo, el gen que la produce– hará que el ratón no tenga la más remota idea de por dónde ir a buscar la recompensa, como si no pudiese evocar el recuerdo. De la misma forma, se puede estudiar el "comportamiento" de las neuronas que participarían del aprendizaje, por ejemplo, midiendo los cambios en sus propiedades eléctricas. Así, se produjeron knockouts de enzimas (como una proteína que, en presencia de calcio y otros factores, agrega un grupo fósforo a otras moléculas, activándolas) o receptores (proteínas que responden cuando llega una señal a la neurona) que se creían necesarios para procesos simples de aprendizaje, y se vio que efectivamente había comportamientos específicos, tanto del animal como de sus neuronas, que se veían afectados.

El problema es que eliminar un gen no es poner escobas a barrer alegremente. Cabe la pregunta de si el ratón knockout es un ratón o un pequeño monstruo que no sabe bien para qué vino al mundo. Es más: con las técnicas comunes de producir mutaciones nulas, el gen desaparece de todas las células del organismo, por lo que, si la pregunta se refería a la importancia del gen en un lugar de la corteza cerebral, por ejemplo, no resulta tan fácil de responder. Hecha la ley, hecho el knockout: muy recientemente, los popes de estas tecnologías, en particular Susumu Tonegawa, del MIT, y Eric Kandel, de la Universidad de Columbia, dejaron a todos boquiabiertos con la posibilidad de producir knockouts en el lugar que tuvieran ganas. Por ejemplo, Tonegawa eliminó un receptor de las neuronas de una zona de la corteza del ratón que se cree está implicada en ciertos tipos de memoria; el resto de las células quedaron intactas. El hecho es que nuestro súper-ratón (o sería más justo llamarlo infra-ratón) no pudo aprender tareas que requieren memoria, como un laberinto en el cual debía aprender a nadar hasta una plataforma salvadora. Actualmente se están probando técnicas destinadas a poder eliminar un gen en el tiempo: sólo en el momento en que se desee probar su importancia. Así, genes que podrían ser necesarios para el desarrollo normal de los ratones podrían dejarse tranquilos hasta que, ya adultos, revistan importancia en otras cuestiones, no vitales pero sí responsables de algún comportamiento.

El mundo del Mickey hechicero empezaba con grandes promesas de bienestar, pero terminaba inundado por las escobas que no paraban de traer agua y más agua. El mundo de la genética del comportamiento por ahora está nadando y recién empieza a enseñarles a las escobas a bailar al compás de *El aprendiz de hechicero*.

Memoria y dolor

En la Argentina también se cuecen knockouts. El doctor Marcelo Rubinstein, investigador del Conicet, y su grupo del Instituto de Ingeniería Genética están desarrollando varios modelos de animales con mutaciones nulas, cada uno destinado a estudiar un comportamiento determinado. Dentro de la memoria están investigando un ratón sin el gen necesario para la producción de –endorfinas (una molécula que participa en mecanismos de analgesia). "Seguimos una vieja idea de Iván Izquierdo (investigador argentino residente en Brasil desde hace muchos años, que estudia las bases químicas y anatómicas de la memoria), según la cual la –endorfina tendría un efecto amnésico", cuenta el doctor Rubinstein, "entonces, los knockouts para esta molécula tendrían que funcionar mejor en una prueba de memoria". Dicho y hecho: los ratones con la mutación se desempeñaron mejor en una prueba llamada de "evitamiento pasivo", en la cual el aprendizaje les permitía escapar a un mínimo shock eléctrico. El problema es que a veces la memoria viene de la mano del dolor, y la endorfina parece cumplir funciones en ambos procesos. Actualmente el grupo del Ingebi está estudiando otro proceso de "memoria" en estos animales: su actividad en un laberinto en el cual se puede medir su aprendizaje espacial. El doctor Rubinstein también reconoce la utilidad de poder producir la mutación donde y cuando se desee: "Estamos poniendo a punto las técnicas para poder producir knockouts de acuerdo con un marco temporal y espacial adecuado", concluye.

PARTICULAS

SEÑALES

"Es indiferente afirmar o negar la realidad de la tenebrosa corporación, porque Babilonia no es otra cosa que un infinito juego de azares."
Jorge Luis Borges
"La lotería en Babilonia"

Por Leonardo Moledo

El experimento de Gisin (ver recuadro "El experimento"), aunque complejo desde el punto de vista técnico (interferómetros, fotones, ángulos de polarización), tiene la esencial simplicidad de lo misterioso: dos partículas gemelas (técnicamente "enganchadas"), enviadas en direcciones contrarias y separadas por quince kilómetros de distancia, sin posibilidad de comunicación física alguna, reaccionaron de manera instantánea no en forma semejante, sino en forma coordinada, vale la pena recalcarlo, como si cada una de ellas supiera lo que le estaba ocurriendo a la otra. O como si hubiera, en el universo, un fondo invisible que las mantuviera unidas.

En el mundo cotidiano, los objetos tienen propiedades mensurables y definidas como la velocidad, la posición o la energía, independientemente de que alguien los observe o no. A escalas muy, pero muy pequeñas, no es así.

LOS DADOS DEL MICROCOSMOS

En el microcosmos –descripto por la mecánica cuántica–, en cambio, donde todo ocurre a escalas de millonésimas de millonésimas de milímetro, los electrones –partículas de electricidad– o los fotones –partículas de luz– (entre otras, como neutrones, protones, etc.) no tienen propiedades definidas sino inciertas y antiintuitivas: pueden estar en varios lugares a la vez, o recorrer distintas trayectorias al mismo tiempo; tienen la extraña capacidad de la incertidumbre.

A lo cual se agrega un nuevo dato extraño: apenas son observadas, su lugar o su trayectoria (o cualquier otra magnitud) dejan de ser inciertas: el simple acto de medir las coloca en una situación definida. En cierto sentido, se parecen a un dado: alguien tira un dado y mientras no lo observe, el resultado –para él– no es más que una nube de posibilidades: 1, 2, 3, 4, 5 o 6, aunque, apenas lo mira, la nube de posibilidades "colapsa" a un resultado definido. Las partículas atómicas, en relación con sus propiedades (posición, velocidad, energía, etc.), son como dados: "nubes de posibilidades" que ante la observación colapsan a un valor concreto (es lo que se llama "colapso de la función de onda").

¿QUIEN JUEGA A LOS DADOS?

Esta propiedad generó la famosa discusión entre Einstein y Niels Bohr. Eins-

La polémica Einstei

Einstein nunca aceptó del todo el Princip
perimentos para rebatirlo: uno de ellos, sim
nos así: dos partículas gemelas parten en
partir de una de ellas uno pueda deducir la
posición de una (permitido) y la velocidad
caso deducir la velocidad de la primera y la
amos exactamente ambas magnitudes de la
de Incertidumbre. Niels Bohr, en cambio, a
mera partícula, la velocidad de la otra se v
su compañera la estaban midiendo. En est
sin salida, porque el experimento era ento
Alain Aspect llevó a cabo un experimento
nes, posiciones y velocidades, usó fotones
tido del experimento fue el mismo: el resu
Einstein. El reciente experimento de Gisin
pect, esta vez con distancias mucho más gr

Modificaciones genéticas de la conducta

¿RATONES MICKEY EN EL LABORATORIO?

Por Diego Golombek

El ratón Mickey se probaba su traje de brujo, y, dirigido por don Stokowsky, hechizaba al mundo para dejar de trabajar: las cosas cambiaban de lugar, las escobas barrían solas, los cubos de agua se llenaban y vaciaban. Mientras tanto, Mickey se echaba una siesta. Sin duda que las habilidades de Mickey en Fantasía eran superiores a las de cualquier ratón de laboratorio, más allá de su traje y su bonete. ¿Sería Mickey un mutante superdotado? ¿Podremos producir Mickeys en el laboratorio?

El comportamiento de cualquier animal es una actividad de lo más compleja: en el fondo de muchas conductas existe la inducción o inhibición de un gen. Esto define a la genética del comportamiento: estudiar la relación entre conducta y genética. No todo está en los genes, es cierto, pero también lo es el hecho de que ciertos genes (y las proteínas que codifican) brindan mayor o menor propensión a conductas muy específicas, incluyendo al aprendizaje y la memoria. Si el típico científico loco de, por ejemplo, *Metrópolis*, podía tratar de obtener zombies con muchos o ningún cerebro, nada impide que el científico moderno –y tal vez no tan loco– intente producir animales con muchos o ningún gen de los que se sospeche que participan en un comportamiento determinado (o, incluso, en una patología determinada). La ingeniería genética permite modificar el genoma (el conjunto de los genes) de un organismo, cuando éste no es más que un puñado de células. Se puede poner un proyecto de ratón, o de mosca (o, para el caso, de papa o de jazmín) debajo del microscopio e introducirle una cantidad de genes, propios o foráneos: estaremos hablando, entonces, de organismos transgénicos. Como buenos aprendices de brujos, se puede poner o quitar: es posible obtener organismos sin un gen determinado, a los que se llama knockouts o mutantes nulos. Claro: la mayoría de las mutaciones knockout son letales: si un animal tiene un gen, seguramente para algo lo tendrá, y el perderlo no será muy compatible con vivir. Sin embargo, se han producido una serie de mutaciones nulas no letales, las cuales pueden dar una idea de cómo es la vida sin ese gen. La vida, o el aprendizaje de una tarea determinada. Los más críticos afirman que si el animal puede vivir sin ese gen, entonces o no era tan necesario, o bien algún otro gen tomó su lugar y compensa la pérdida.



La idea es la siguiente: si en un experimento se puede comprobar que una proteína determinada se activa cuando un ratón aprende a moverse por un laberinto, entonces el no tener esa proteína –o, lo que es lo mismo, el gen que la produce– hará que el ratón no tenga la más remota idea de por dónde ir a buscar la recompensa, como si no pudiese evocar el recuerdo. De la misma forma, se puede estudiar el "comportamiento" de las neuronas que participarían del aprendizaje, por ejemplo, midiendo los cambios en sus propiedades eléctricas. Así, se produjeron knockouts de enzimas (como una proteína que, en presencia de calcio y otros factores, agrega un grupo fósforo a otras moléculas, activándolas) o receptores (proteínas que responden cuando llega una señal a la neurona) que se creían necesarios para procesos simples de aprendizaje, y se vio que efectivamente había comportamientos específicos, tanto del animal como de sus neuronas, que se veían afectados.

El problema es que eliminar un gen no es poner escobas a barrer alegremente. Cabe la pregunta de si el ratón knockout es un ratón o un pequeño monstruo que no sabe bien para qué vino al mundo. Es más: con las técnicas comunes de producir mutaciones nulas, el gen desaparece de todas las células del organismo, por lo que, si la pregunta se refería a la importancia del gen en un lugar de la corteza cerebral, por ejemplo, no resulta tan fácil de responder. Hecha la ley, hecho el knockout: muy recientemente, los popes de estas tecnologías, en particular Susumu Tonegawa, del MIT, y Eric Kandel, de la Universidad de Columbia, dejaron a todos boquiabiertos con la posibilidad de producir knockouts en el lugar que tuvieran ganas. Por ejemplo, Tonegawa eliminó un receptor de las neuronas de una zona de la corteza del ratón que se cree está implicada en ciertos tipos de memoria; el resto de las células quedaron intactas. El hecho es que nuestro súper-ratón (o sería más justo llamarlo infra-ratón) no pudo aprender tareas que requieren memoria, como un laberinto en el cual debía aprender a nadar hasta una plataforma salvadora. Actualmente se están probando técnicas destinadas a poder eliminar un gen en el tiempo: sólo en el momento en que se desee probar su importancia. Así, genes que podrían ser necesarios para el desarrollo normal de los ratones podrían dejarse tranquilos hasta que, ya adultos, revistan importancia en otras cuestiones, no vitales pero sí responsables de algún comportamiento.

El mundo del Mickey hechicero empezaba con grandes promesas de bienestar, pero terminaba inundado por las escobas que no paraban de traer agua y más agua. El mundo de la genética del comportamiento por ahora está nadando y recién empieza a enseñarles a las escobas a bailar al compás de *El aprendiz de hechicero*.

Memoria y dolor

En la Argentina también se cuecen knockouts. El doctor Marcelo Rubinstein, investigador del Conicet, y su grupo del Instituto de Ingeniería Genética están desarrollando varios modelos de animales con mutaciones nulas, cada uno destinado a estudiar un comportamiento determinado. Dentro de la memoria están investigando un ratón sin el gen necesario para la producción de –endorfinas (una molécula que participa en mecanismos de analgesia). "Seguimos una vieja idea de Iván Izquierdo (investigador argentino residente en Brasil desde hace muchos años, que estudia las bases químicas y anatómicas de la memoria), según la cual la –endorfina tendría un efecto amnésico", cuenta el doctor Rubinstein, "entonces, los knockouts para esta molécula tendrían que funcionar mejor en una prueba de memoria". Dicho y hecho: los ratones con la mutación se desempeñaron mejor en una prueba llamada de "evitamiento pasivo", en la cual el aprendizaje les permitía escapar a un mínimo shock eléctrico. El problema es que a veces la memoria viene de la mano del dolor, y la endorfina parece cumplir funciones en ambos procesos. Actualmente el grupo del Ingebi está estudiando otro proceso de "memoria" en estos animales: su actividad en un laberinto en el cual se puede medir su aprendizaje espacial. El doctor Rubinstein también reconoce la utilidad de poder producir la mutación donde y cuando se desee: "Estamos poniendo a punto las técnicas para poder producir knockouts de acuerdo con un marco temporal y espacial adecuado", concluye.

PARTICULAS, MENSAJES MAS RAPIDOS QUE LA LUZ Y OTRAS CUESTIONES

SEÑALES A DISTANCIA EN EL MICROCOSMOS

"Es indiferente afirmar o negar la realidad de la tenebrosa corporación, porque Babilonia no es otra cosa que un infinito juego de azares."
Jorge Luis Borges
"La lotería en Babilonia"

Por Leonardo Moledo

El experimento de Gisin (ver recuadro "El experimento"), aunque complejo desde el punto de vista técnico (interferómetros, fotones, ángulos de polarización), tiene la esencial simplicidad de lo misterioso: dos partículas gemelas (técnicamente "enganchadas"), enviadas en direcciones contrarias y separadas por quince kilómetros de distancia, sin posibilidad de comunicación física alguna, reaccionaron de manera instantánea no en forma semejante, sino en forma coordinada, vale la pena recalcarlo, como si cada una de ellas supiera lo que le estaba ocurriendo a la otra. O como si hubiera, en el universo, un fondo invisible que las mantuviera unidas.

En el mundo cotidiano, los objetos tienen propiedades mensurables y definidas como la velocidad, la posición o la energía, independientemente de que alguien los observe o no. A escalas muy, pero muy pequeñas, no es así.

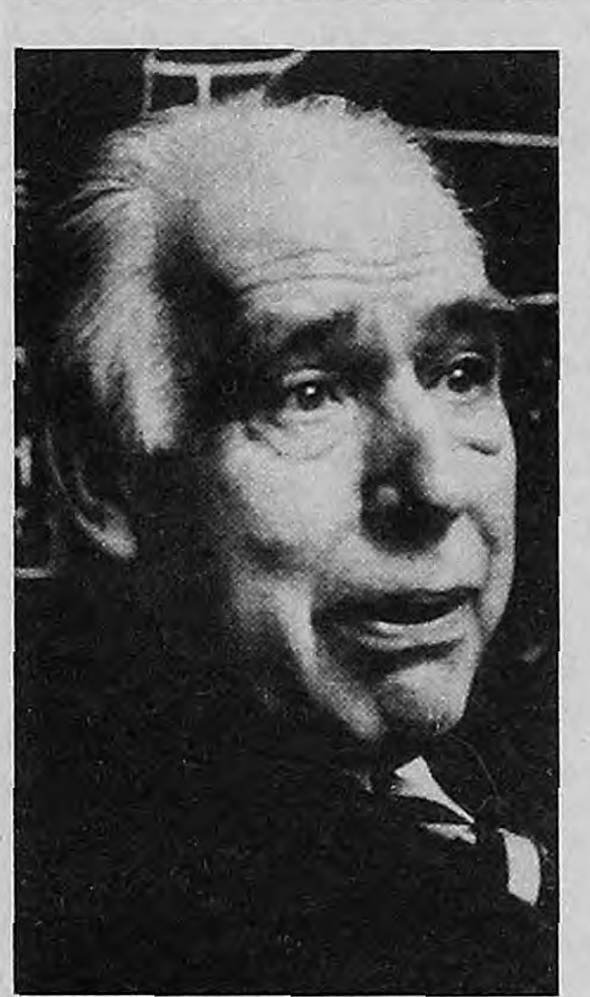
LOS DADOS DEL MICROCOSMOS

En el microcosmos –descripto por la mecánica cuántica–, en cambio, donde todo ocurre a escalas de millonésimas de millonésimas de milímetro, los electrones –partículas de electricidad– o los fotones –partículas de luz– (entre otras, como neutrones, protones, etc.) no tienen propiedades definidas sino inciertas y antiintuitivas: pueden estar en varios lugares a la vez, o recorrer distintas trayectorias al mismo tiempo; tienen la extraña capacidad de la incertidumbre.

A lo cual se agrega un nuevo dato extraño: apenas son observadas, su lugar o su trayectoria (o cualquier otra magnitud) dejan de ser inciertas: el simple acto de medir las coloca en una situación definida. En cierto sentido, se parecen a un dado: alguien tira un dado y mientras no lo observe, el resultado –para él– no es más que una nube de posibilidades: 1, 2, 3, 4, 5 o 6, aunque, apenas lo mira, la nube de posibilidades "colapsa" a un resultado definido. Las partículas atómicas, en relación con sus propiedades (posición, velocidad, energía, etc.), son como dados: "nubes de posibilidades" que ante la observación colapsan a un valor concreto (es lo que se llama "colapso de la función de onda").

¿QUIEN JUEGA A LOS DADOS?

Esta propiedad generó la famosa discusión entre Einstein y Niels Bohr. Einstein sostenía que al fin y al cabo: "El dado está sobre la mesa y el resultado existe independientemente de que se lo observe o no". Lo mismo para las partículas: si nos parece una nube de posibilidades, es por una debilidad de la teoría. Bohr contestaba que las partículas no tenían propiedades definidas hasta que no intervenía un observador; el resultado no existe hasta que no se observa. Si se mira, existe resultado, si no se mira, no. La consistencia de la realidad, de alguna manera, depende o interactúa con el observador. Einstein no lo podía aceptar, de ahí su famosa frase: "Dios no juega a los dados", y proponía experimentos para demostrar que la indefinición en el microcosmos era un problema nuestro, y no de la realidad.



Niels Bohr (1885-1962), uno de los creadores de la mecánica cuántica

GISIN JUEGA A LOS DADOS

Gisin, de alguna manera realizó uno de los experimentos propuestos por Einstein (ver recuadros "El Principio de Incertidumbre" y "La polémica Einstein-Bohr"): envió dos fotones en direcciones opuestas, norte y sur. Cuando estaban a quince kilómetros de distancia, observó una propiedad (el ángulo de polarización) de uno de ellos. Al ser observada, la propiedad colapsó hacia un valor definido, lo cual no tiene nada de raro, desde ya.

Pero lo interesante es que el otro fotón también colapsó hacia el mismo valor, sin que nadie le hubiera hecho nada, como si supiera que a su amigo lo estaban observando. Es lo mismo que si Gisin hubiera tirado dos dados independientemente y a quince kilómetros de distancia. Y cuando miró el dado norte, por supuesto, colapsó a un valor. Pero el dado del sur también colapsó al mismo valor en el mismo instante, como si se hubieran comunicado, aunque no existiera ninguna posibilidad de comunicación física entre ambos dados, o fotones. Y sin embargo, cada uno se "enteró" instantáneamente de lo que pasaba con el otro. Una comunicación instantánea, que, en principio, parecería violar el principio relativista de que nada puede propagarse más rápido que la luz.

PROHIBIDO IR MAS RAPIDO QUE LA LUZ

Sin embargo, la prohibición relativista de superar la velocidad de la luz sólo rige para aquellas señales capaces de transportar información, cosa que no ocurre en el caso de los fotones de Gisin (ver reportaje a Daniel Bes).

De todas maneras, y aunque Gisin corroboró un resultado de la mecánica cuántica, no dejan de ser inquietantes las implicaciones filosóficas sobre la naturaleza de la realidad y el status del azar que permiten desde interpretaciones holistas –el universo tiene un "fondo coherente", un código universal subyacente que conecta todos los fenómenos– hasta la –por cierto un poco fantástica– teoría de los "universos múltiples" de John Wheeler, en la que, cada vez que una función de onda colapsa hacia un valor, el universo se separa de otros mundos múltiples donde la misma función de onda colapsó hacia valores distintos. Seis universos cada vez que se arroja un dado –cuántico, claro está.

Lo cierto es que nadie puede contestar el interrogante: ¿la realidad tiene una configuración definida o es sólo un haz de posibilidades, un mero juego de azares?

El experimento (recuadro casi técnico)

El experimento de Gisin se realizó a partir de un fotón (partícula de luz) ultravioleta, al que se separó en dos fotones gemelos o "enganchados" (la palabra técnica en inglés es *entangled*), que recorrieron un trayecto de 7 km cada uno por fibra óptica hacia el norte y el sur de Ginebra; al terminar su trayecto, cada fotón debía adoptar un cierto ángulo de polarización al azar.

El experimento utilizó un par de intereferómetros –aparatos capaces de separar y recombinar haces de luz–. Los interferómetros (que básicamente consisten en un sistema de espejos y reflectores polarizados, que permiten pasar la luz en ciertas direcciones y la reflejan en otras) fueron diseñados por James D. Franson, de la Universidad Johns Hopkins (Estados Unidos).

A 15 kilómetros de distancia –y sin que existiera posibilidad alguna de comunicación física o de envío de señales entre ambos fotones "enganchados"–, el ángulo de polarización que adoptaron en el interferómetro, cuyo valor en principio era azaroso, colapsó hacia valores idénticos, confirmando una vieja predicción de la mecánica cuántica.

El principio de incertidumbre

Uno de los rasgos más inquietantes y espectaculares del mundo microscópico es el "principio de incertidumbre": hay pares de magnitudes (la velocidad y la posición, la energía y el tiempo entre otros) que no se pueden observar simultáneamente con precisión: cuanta más precisión se obtenga en una, menos se obtendrá en la otra. En el caso de que una de ellas colapse a un valor definido, la otra se volverá completamente incierta. Si se mide con exactitud la posición de una partícula, su velocidad puede ser cualquiera, si se mide exactamente la velocidad,... la partícula puede encontrarse en cualquier lugar del universo. Una u otra, pero no las dos.

Pero esto no se debe a un problema relacionado con la medición: la incertidumbre cuántica parece ser una propiedad de la naturaleza: no es que sea imposible medir simultáneamente velocidad y posición de una partícula atómica o subatómica, sino que hablar de la velocidad y la posición simultáneas de una partícula carece de sentido. Naturalmente, estos antiintuitivos fenómenos no se observan en el mundo macroscópico, debido a su incidencia infinitesimal, pero de todas maneras plantean preguntas sobre la estructura de la realidad.

La polémica Einstein-Bohr

Einstein nunca aceptó del todo el Principio de Incertidumbre y propuso diversos experimentos para rebatirlo: uno de ellos, simplificado hasta el escándalo, era más o menos así: dos partículas gemelas parten en direcciones contrarias, de tal manera que a partir de una de ellas uno pueda deducir la situación de la otra. Entonces, se mide la posición de una (permitido) y la velocidad de la otra (también permitido), y en cada caso deducir la velocidad de la primera y la posición de la segunda, con lo cual sabríamos exactamente ambas magnitudes de las dos (prohibido) y se violaría el Principio de Incertidumbre. Niels Bohr, en cambio, aseguró que al medirse la posición de la primera partícula, la velocidad de la otra se volvería imprecisa, como si "supiera" que a su compañera la estaban midiendo. En este punto, la cosa desembocó en un callejón sin salida, porque el experimento era entonces impracticable. Pero en 1982 el físico Alain Aspect llevó a cabo un experimento para zanjar la discusión: en vez de electrones, posiciones y velocidades, usó fotones y direcciones de polarización, pero el sentido del experimento fue el mismo: el resultado dio la razón a Niels Bohr y refutó a Einstein. El reciente experimento de Gisin es una ampliación de los anteriores de Aspect, esta vez con distancias mucho más grandes.

La velocidad de la luz y la realidad

El Dr. Daniel Bes es físico teórico y presidente de la Asociación Física Argentina.

–Dr. Bes: ¿estos experimentos violan el principio de la Teoría de la Relatividad que prohíbe la propagación de señales más rápido que la luz?

–No debería hacerlo, yo no lo creo. Si los experimentos se analizan con cuidado, seguramente se puede ver que el principio relativista no se viola. Creo que tanto la mecánica cuántica como la Teoría de la Relatividad son dos cosas bien establecidas, y no pienso que una viole postulados de la otra. Lo mismo en otras teorías –como por ejemplo la inflación del universo, de Alan Guth–, donde parece que el postulado relativista se viola, cuando uno lo mira de cerca ve que no es así.

–Bueno, pero en este caso, se envió información de manera instantánea.

–Yo creo que no, que entre los dos fotones no hay transmisión de información útil, sobre la cual se pueda operar.

–¿Qué significado tienen estos experimentos?

–Confirman la teoría cuántica a distancias que no son muy pequeñas, porque en principio la mecánica cuántica se elaboró para explicar fenómenos en escalas mínimas. Pero fíjese que^, tanto en los experimentos de Aspect –12 metros– como en éste –15 kilómetros–, ya no son escalas del dominio atómico para el cual se creó. Todo lo cual hace más interesante el problema de la transición entre la mecánica cuántica y la clásica, la de lo macroscópico, que hoy no está del todo claro. Si eso se va a resolver mediante una teoría superior, no tengo idea.

–¿Le sorprende el resultado?

–Francamente, esos resultados me producen un cierto alivio. Mientras no se tuvieran esos resultados, uno podía pensar que, aun con el cúmulo de evidencias, había algo básicamente incorrecto.

–¿Y qué implican en nuestra relación con la realidad, o en nuestra manera de ver y pensar la realidad?

–Realmente, no me animo a concluir nada. Creo que tiene influencias profundas en nuestra manera de ver la realidad, porque son limitaciones a la imagen clásica que sostenía que podíamos conocer todo. Asociando un poco libremente, se me ocurre que hay otros ámbitos donde ocurre lo mismo... en el cerebro, por ejemplo, surge un problema semejante: cuando el cerebro se observa a sí mismo, actúa de forma distinta.

S, MENSAJES MAS RAPIDOS QUE LA LUZ Y OTRAS CUESTIONES

S A DISTANCIA EN EL MICROCOSMOS

El experimento (recuadro casi técnico)

El experimento de Gisin se realizó a partir de un fotón (partícula de luz) ultravioleta, al que se separó en dos fotones gemelos o "enganchados" (la palabra técnica en inglés es *entangled*), que recorrieron un trayecto de 7 km cada uno por fibra óptica hacia el norte y el sur de Ginebra; al terminar su trayecto, cada fotón debía adoptar un cierto ángulo de polarización al azar.

El experimento utilizó un par de intereferómetros –aparatos capaces de separar y recombinar haces de luz–. Los interferómetros (que básicamente consisten en un sistema de espejos y reflectores polarizados, que permiten pasar la luz en ciertas direcciones y la reflejan en otras) fueron diseñados por James D. Franson, de la Universidad Johns Hopkins (Estados Unidos).

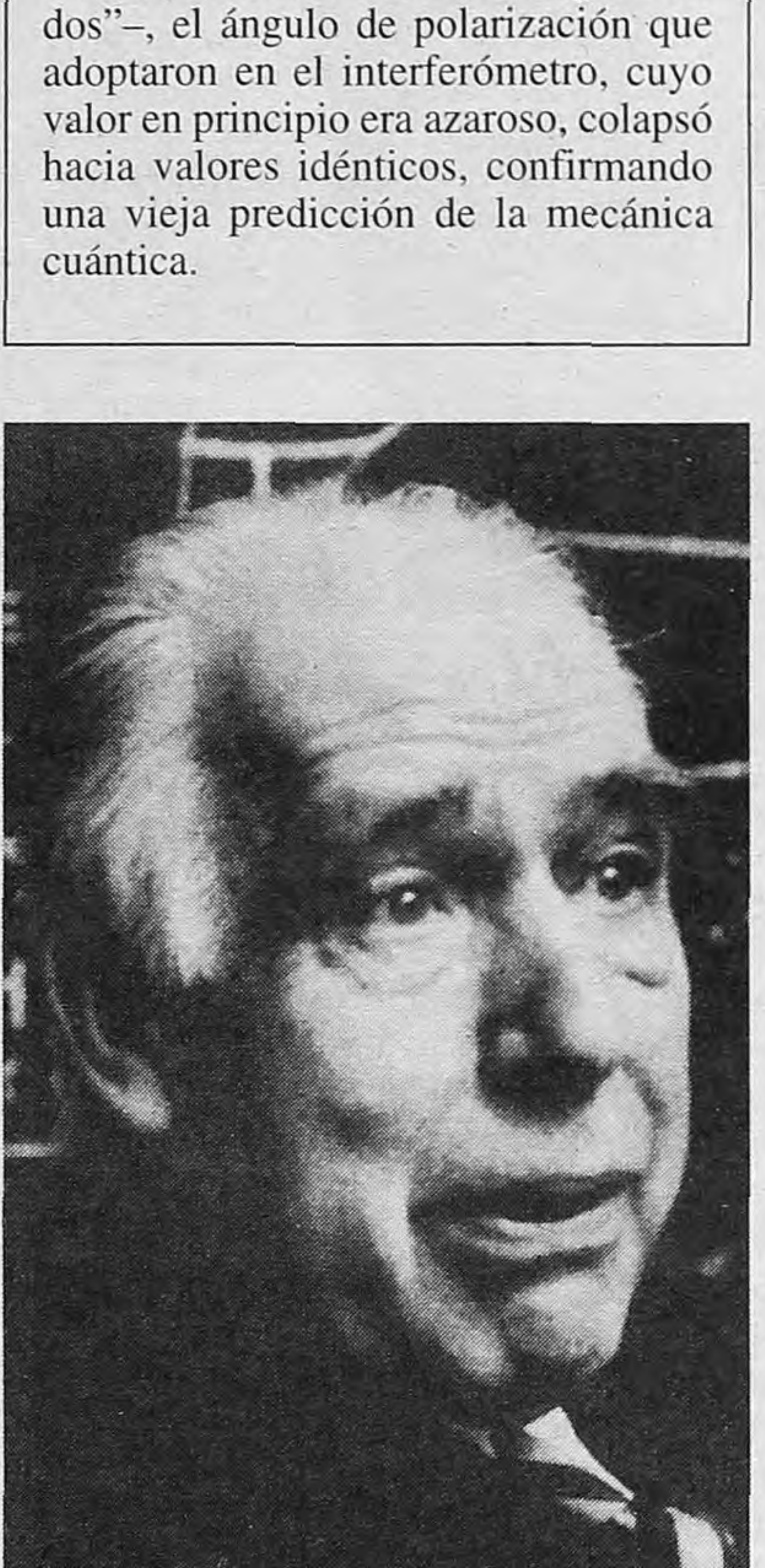
A 15 kilómetros de distancia –y sin que existiera posibilidad alguna de comunicación física o de envío de señales entre ambos fotones "enganchados"–, el ángulo de polarización que adoptaron en el interferómetro, cuyo valor en principio era azaroso, colapsó hacia valores idénticos, confirmando una vieja predicción de la mecánica cuántica.



El principio de incertidumbre

Uno de los rasgos más inquietantes y espectaculares del mundo microscópico es el "principio de incertidumbre": hay pares de magnitudes (la velocidad y la posición, la energía y el tiempo entre otros) que no se pueden observar simultáneamente con precisión: cuanta más precisión se obtenga en una, menos se obtendrá en la otra. En el caso de que una de ellas colapse a un valor definido, la otra se volverá completamente incierta. Si se mide con exactitud la posición de una partícula, su velocidad puede ser cualquiera, si se mide exactamente la velocidad,... la partícula puede encontrarse en cualquier lugar del universo. Una u otra, pero no las dos.

Pero esto no se debe a un problema relacionado con la medición: la incertidumbre cuántica parece ser una propiedad de la naturaleza: no es que sea imposible medir simultáneamente velocidad y posición de una partícula atómica o subatómica, sino que hablar de la velocidad y la posición simultáneas de una partícula carece de sentido. Naturalmente, estos antiintuitivos fenómenos no se observan en el mundo macroscópico, debido a su incidencia infinitesimal, pero de todas maneras plantean preguntas sobre la estructura de la realidad.



Niels Bohr (1885-1962), uno de los creadores de la mecánica cuántica

in-Bohr

pio de Incertidumbre y propuso diversos ex-
mplificado hasta el escándalo, era más o me-
direcciones contrarias, de tal manera que a
la situación de la otra. Entonces, se mide la
d de la otra (también permitido), y en cada
la posición de la segunda, con lo cual sabrí-
las dos (prohibido) y se violaría el Principio
aseguró que al medirse la posición de la pri-
volvería imprecisa, como si "supiera" que a
ste punto, la cosa desembocó en un callejón
onces impracticable. Pero en 1982 el físico
o para zanjar la discusión: en vez de electro-
s y direcciones de polarización, pero el sen-
sultado dio la razón a Niels Bohr y refutó a
n es una ampliación de los anteriores de As-
grandes.

tein sostenía que al fin y al cabo: "El dado está sobre la mesa y el resultado existe independientemente de que se lo observe o no". Lo mismo para las partículas: si nos parece una nube de posibilidades, es por una debilidad de la teoría. Bohr contestaba que las partículas no tenían propiedades definidas hasta que no intervenía un observador; el resultado no existe hasta que no se observa. Si se mira, existe resultado, si no se mira, no. La consistencia de la realidad, de alguna manera, depende o interactúa con el observador. Einstein no lo podía aceptar, de ahí su famosa frase: "Dios no juega a los dados", y proponía experimentos para demostrar que la indefinición en el microcosmos era un problema nuestro, y no de la realidad.

GISIN JUEGA A LOS DADOS

Gisin, de alguna manera realizó uno de los experimentos propuestos por Einstein (ver recuadros "El Principio de Incertidumbre" y "La polémica Einstein-Bohr"): envió dos fotones en direcciones opuestas, norte y sur. Cuando estaban a quince kilómetros de distancia, observó una propiedad (el ángulo de polarización) de uno de ellos. Al ser observada, la propiedad colapsó hacia un valor definido, lo cual no tiene nada de raro, desde ya.

Pero lo interesante es que el otro fotón también colapsó hacia el mismo valor, sin que nadie le hubiera hecho nada, como si supiera que a su amigo lo estaban observando. Es lo mismo que si Gisin hubiera tirado dos dados independientemente y a quince kilómetros de distancia. Y cuando miró el dado norte, por supuesto, colapsó a un valor. Pero el dado del sur también colapsó al mismo valor en el mismo instante, como si se hubieran comunicado, aunque no existiera ninguna posibilidad de comunicación física entre ambos dados, o fotones. Y sin embargo, cada uno se "enteró" instantáneamente de lo que pasaba con el otro. Una comunicación instantánea, que, en principio, parecería violar el principio relativista de que nada puede propagarse más rápido que la luz.

PROHIBIDO IR MAS RAPIDO QUE LA LUZ

Sin embargo, la prohibición relativista de superar la velocidad de la luz sólo rige para aquellas señales capaces de transportar información, cosa que no ocurre en el caso de los fotones de Gisin (ver reportaje a Daniel Bes).

De todas maneras, y aunque Gisin corroboró un resultado de la mecánica cuántica, no dejan de ser inquietantes las implicaciones filosóficas sobre la naturaleza de la realidad y el status del azar que permiten desde interpretaciones holistas –el universo tiene un "fondo coherente", un código universal subyacente que conecta todos los fenómenos– hasta la –por cierto un poco fantástica– teoría de los "universos múltiples" de John Wheeler, en la que, cada vez que una función de onda colapsa hacia un valor, el universo se separa de otros mundos múltiples donde la misma función de onda colapsó hacia valores distintos. Seis universos cada vez que se arroja un dado –cuántico, claro está.

Lo cierto es que nadie puede contestar el interrogante: ¿la realidad tiene una configuración definida o es sólo un haz de posibilidades, un mero juego de azares?

La velocidad de la luz y la realidad

El Dr. Daniel Bes es físico teórico y presidente de la Asociación Física Argentina.

–Dr. Bes: ¿estos experimentos violan el principio de la Teoría de la Relatividad que prohíbe la propagación de señales más rápido que la luz?

–No debería hacerlo, yo no lo creo. Si los experimentos se analizan con cuidado, seguramente se puede ver que el principio relativista no se viola. Creo que tanto la mecánica cuántica como la Teoría de la Relatividad son dos cosas bien establecidas, y no pienso que una viole postulados de la otra. Lo mismo en otras teorías –como por ejemplo la inflación del universo, de Alan Guth–, donde parece que el postulado relativista se viola, cuando uno lo mira de cerca ve que no es así.

–Bueno, pero en este caso, se envió información de manera instantánea.

–Yo creo que no, que entre los dos fotones no hay transmisión de información útil, sobre la cual se pueda operar.

–¿Qué significado tienen estos experimentos?

–Confirman la teoría cuántica a distancias que no son muy pequeñas, porque en principio la mecánica cuántica se elaboró para explicar fenómenos en escalas mínimas. Pero fíjese que^, tanto en los experimentos de Aspect –12 metros– como en éste –15 kilómetros–, ya no son escalas del dominio atómico para el cual se creó. Todo lo cual hace más interesante el problema de la transición entre la mecánica cuántica y la clásica, la de lo macroscópico, que hoy no está del todo claro. Si eso se va a resolver mediante una teoría superior, no tengo idea.

–¿Le sorprende el resultado?

–Francamente, esos resultados me producen un cierto alivio. Mientras no se tuvieran esos resultados, uno podía pensar que, aun con el cúmulo de evidencias, había algo básicamente incorrecto.

–¿Y qué implican en nuestra relación con la realidad, o en nuestra manera de ver y pensar la realidad?

–Realmente, no me animo a concluir nada. Creo que tiene influencias profundas en nuestra manera de ver la realidad, porque son limitaciones a la imagen clásica que sostenía que podíamos conocer todo. Asociando un poco libremente, se me ocurre que hay otros ámbitos donde ocurre lo mismo... en el cerebro, por ejemplo, surge un problema semejante: cuando el cerebro se observa a sí mismo, actúa de forma distinta.

AGENDA

CURSOS DE DOCTORADO Y MAESTRIA EN SIMULACION NUMERICA Y CONTROL

A partir de este mes comienzan los cursos de Doctorado y de la Maestría en Simulación Numérica y Control, en la Facultad de Ingeniería de la UBA. Entre los cursos de la Maestría se encuentran los siguientes temas: control digital, control no lineal, simulación del VLSI, control en la industria de procesos químicos, entre otros. Más información en la Secretaría de Investigación y Desarrollo. Paseo Colón 850. Piso 3º. Cap. Fed. Teléfono (01) 331-1852. E-mail: secid @aleph. fi.uba.ar

SEMINARIO DE ESPECIALISTAS SOBRE INVENTARIO DE ESPACIOS VERDES PUBLICOS

A realizarse los días 6 y 7 de octubre de 1997 –de 9 a 18– en el Pabellón Central de la Facultad de Agronomía (UBA), Avda. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires. Dirigido a especialistas de las universidades del país y del Mercosur con carreras afines (diseño del paisaje, agronomía, historia del arte, geografía, arquitectura, urbanismo) y a los organismos estatales (municipales, provinciales o nacionales) con responsabilidad en el tema y que puedan hacerse cargo de las tareas de inventario. Informes: cátedra de Planificación de Espacios Verdes, Facultad de Agronomía - UBA, Avda. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Teléfono (54-1) 524-8009 berjman@charao.agro.uba.ar o nizzero @ charao.agro.uba.ar

Mensajes a FUTURO
sup.futuro@pagina12.com.ar

Los primeros habitantes de América

SCIENCE Si bien hay acuerdo en que los primeros pobladores de América vinieron desde Alaska, y siguieron hacia el Sur hace más de 12.500 años, era un misterio cómo pudieron sortear la densa vegetación en la zona de la Columbia Británica. Ahora se descubrió que usaron un área que ahora está a 153 metros por debajo del nivel del mar, pero hace 14.600 años estaba emergida y se podía transitar. A su vez este nivel bajo del mar también produjo un clima diferente, con bosques de pinos y plantas herbáceas, "un ambiente más fácil de superar", según estima Heiner Josenhans, responsable de la investigación en el Centro de Estudios Geológicos de Canadá.

Las lluvias en las pampas y los volcanes

CIENCIA HOY Entre 1956 y 1991 la lluvia no faltó nunca en la pampa. El especialista en ciencias de la atmósfera Vicente Barros de la UBA y sus colaboradores encontraron que durante esos 35 años hubo una tendencia al crecimiento global: se pasó de 850 a 1150 milímetros anuales. Y ¿por qué se dio así? Es que a partir de 1956 se intensificó la actividad de los volcanes y las zonas tropicales se enfriaron, por lo cual disminuyó la diferencia de temperatura entre los trópicos y las regiones templadas del Hemisferio Sur. Por esto, los frentes fríos quedaron estacionarios sobre las pampas o las atravesaron más lentamente, y así las lluvias aumentaron.

Buscando señales extraterrestres

NewScientist La forma más seria –y barata– de buscar vida extraterrestre inteligente es barrer el cielo con radiotelescopios sistemáticamente. Hace unas semanas, técnicos de la Universidad de California le colocaron un flamante receptor al radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico), que es el más grande del mundo. El nuevo chiche, llamado Serendip IV, es capaz de monitorear 168 millones de canales de radio simultáneamente, cuarenta veces más que el antiguo receptor. Y ahora las esperanzas son mucho más grandes: "Si hay otras civilizaciones allí afuera, tenemos la tecnología para encontrarlas", dice Dan Werthimer, codirector del proyecto de búsqueda de vida extraterrestre inteligente (SETI).

Software con mentalidad policial

SCIENTIFIC AMERICAN Imitando la manera en que el cerebro extrae señales de su entorno, Joseph P. Atick, de la Universidad Rockefeller (EE. UU.), desarrolló un software, FaceIt, que reconoce caras de personas por análisis de los rasgos locales, a diferencia de otros programas que se basan en una descripción matemática de la cara entera. Y a qué se debe el interés en un identikit tan preciso: el nuevo software servirá como herramienta contra robos bancarios e inmigrantes ilegales. Ya se piensa en instalarlo en el límite con México, donde el programa tratará de confirmar la identidad de viajeros y registrados y así determinar quién no cumple con la documentación correspondiente para pasar de un país a otro.

LIBROS

ATRAPANDO LA LUZ

de Arthur Zajonc
Editorial Andrés Bello/ Ensayos
370 páginas

Atrapando la luz es una obra deliciosa en la cual la historia es narrada al compás de la incesante búsqueda de científicos, artistas, teólogos, filósofos, místicos y otros tantos que alguna vez se propusieron darle un sentido a la pregunta "¿qué es la luz?".

Los interrogantes que se han formulado a lo largo del tiempo son vastos, a la vez que ricos y entretenidos en significados y anécdotas. La luz: símbolo por excelencia en las antiguas religiones así como en la corriente judeocristiana, también los griegos se vieron una y otra vez contra esta manifestación natural y la ciencia la hizo oscilar al compás de la historia entre partículas y ondas, entre éter y vacío. Todo el devenir de la relación entre el hombre y la luz es rescatado por Arthur Zajonc, quien logra dar las pinceladas de color a una síntesis de historia, ciencia, filosofía y religión.

Atrapando la luz es un relato maravilloso y entretenido donde se narran los caminos del pensamiento humano, desde el "hágase la luz". Zajonc no deja de prestar atención a la historia de la luz desde los tiempos bíblicos hasta la óptica moderna, desde Zoroastro hasta la teoría cuántica. Se recomienda con énfasis.

PERROS QUE LADRAN Y MUERDEN

Por Mónica Nosetto

Un buen día los perros se acercaron a los humanos, se sentaron, y decidieron quedarse junto a ellos. ¿En realidad fue así de simple la manera como estos animales predadores abandonaron la vida salvaje? ¿Y cuándo ocurrió esta conversión? Hasta ahora, la interpretación de los orígenes del perro domesticado estuvo basada en los huesos fósiles de estos animales, encontrados junto con los restos de humanos prehistóricos en cuevas de todo el mundo. Así, se argumentó que la domesticación de los perros pudo haber tenido lugar en Medio Oriente, Europa, o en varios sitios del sudeste asiático. Hasta aquí la polémica se enfocaba en una cuestión de lugar, no de tiempo. Los fósiles en los sitios propuestos datan todos del mismo período, entre 10.000 a 20.000 años atrás. Muchos investigadores supusieron que estos primeros perros eran descendientes de lobos domados que se cruzaron y evolucionaron hacia especies domesticadas. También sospecharon que chacales o coyotes contribuyeron al linaje del perro.

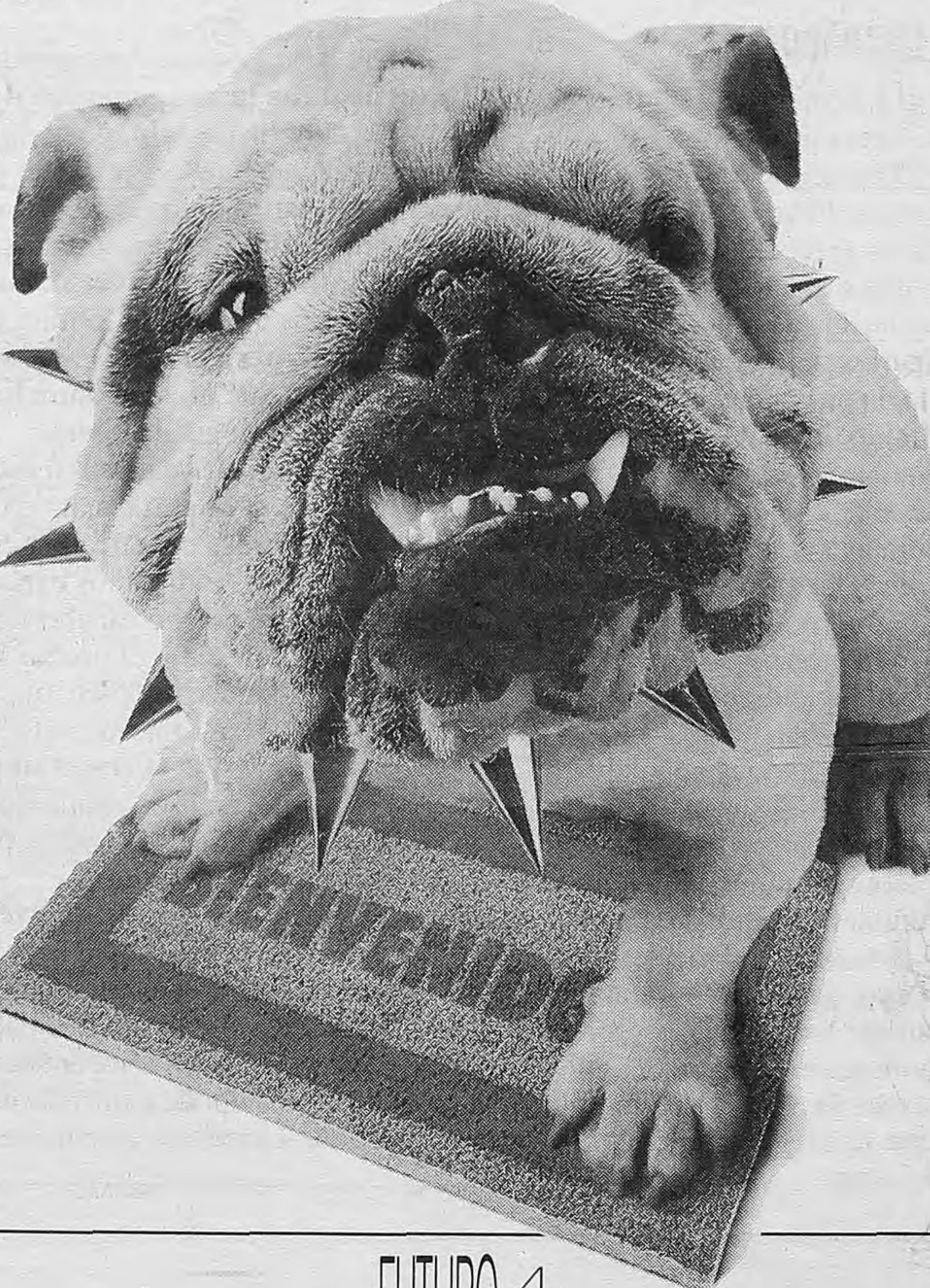
Pero, en la última década, los biólogos moleculares comenzaron a estudiar el ADN canino para rastrear el linaje completo de más de 440 razas de perros y especies relacionadas. Y se encontraron con que los genes del perro cuentan una historia muy diferente de la que narran los huesos de sus antecesores cavernarios.

Como lo anticipó brevemente FUTURO el sábado anterior, un artículo de la revista *Science* lanzó al ruedo la novedad: Robert K. Wayne, de la Universidad de California, y sus colegas ahora tienen evidencia de que los perros podrían haber sido domesticados hace 100.000 años, o más. El nuevo estudio genético no responde la pregunta del origen geográfico del perro, pero deja claro que el lobo es su único ancestro.

Los biólogos moleculares analizaron ADN extraído de muestras de sangre y pelos de 162 lobos que representan 27 poblaciones en Europa, Asia y América del Norte, y los resultados se compararon con ADN, también de sangre y pelo, de 140 perros que representan 67 razas distribuidas en todo el mundo.

Wayne y sus colegas miraron un segmento del ADN mitocondrial de las células, que muta rápidamente a través de las generaciones, y resulta útil para cronometrar la divergencia de evolución de especies estrechamente relacionadas, como los perros y lobos. Ahora discuten dos posibilidades: algunas veces los perros pueden haber sido lobos que se domesticaron directamente; o puede haber ocurrido que después de la domesticación los perros se cruzaron con lobos de tanto en tanto.

Lo que de cualquier manera parece imposible, dicen, es que toda la variabilidad de ADN haya aparecido en el período asignado hasta ahora a la domesticación. Tantas diferencias en el ADN indican que el origen del perro no puede ser ubicado hace 14.000 años, una de las fechas comúnmente citadas.



Aunque la vida de los perros depende ahora del dueño que le haya tocado en suerte, los eslabones genéticos que los relacionan con sus antepasados salvajes permanecen intactos. La cerrada trama de la genealogía del perro y el lobo explica un problema serio y crónico. Es difícil determinar el número exacto de personas en el mundo que cada año son mordidas y lastimadas seriamente por perros, pero algunas cifras hay. Los investigadores estiman que 4,7 millones de personas en Estados Unidos (donde se calcula que hay casi 60 millones de perros) fueron mordidas por perros en 1994, produciendo ochocientas mil lesiones que requirieron atención médica: el monto de las facturas que derivó de estos hechos se estimó en mil millones de dólares.

Las cifras existentes en la Argentina provienen de la Dirección de Epidemiología del Ministerio de Salud y Acción Social. El doctor Rolando Boffi, jefe del Departamento de Zoonosis, Reservorios y Vectores de esa Dirección, dio el dato: en el año 1996 se registraron en todo el país 57.722 personas mordidas por perros. El número es seguramente inferior a la totalidad de casos ocurridos, pues sólo se puede llevar la cuenta de aquellos que son denunciados en los centros antirrábicos.

Los especialistas sostienen que el problema primario en este asunto son los dueños de los perros, basándose en que cualquier perro maltratado puede ser un mordedor.

Randall Lockwood, de la Humane Society, en Washington, D.C., que estudió los lobos en Alaska, afirma que "morder es definitivamente una conducta del lobo". Este comportamiento en los perros involucra un juego específico de señales. Como predadores, los lobos persiguen y cazan a sus presas, que corren tratando de huir. Es por su legado genético que los perros muerden a personas que van corriendo.

Según Lockwood, una consecuencia del proceso de domesticación es que los humanos convertimos al lobo en un arma. Su teoría consiste en que el lobo controla naturalmente su decisión de morder, pero en los perros, el control de la decisión de morder pasó a manos de su dueño. Ese es el núcleo originario del problema. Quizás en esto la sabiduría popular se anticipó a la ciencia, cuando comenzó a asegurar que los perros tienen la cara de su dueño.